

## **TAKVİYELENDİRİLMİŞ KAÜÇUKLARDA RASTGELE DAĞILMIŞ TAKVİYELERİN MEKANİK DAVRANIŞA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Bahattin Kanber<sup>1</sup>, Ali Osman Güney<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa

### **ABSTRACT**

In this study, the mechanical behaviours under tensile load of rubbers reinforced with continuous fibers piled in various forms are experimentally investigated. In the study, unreinforced and reinforced rubber specimens are used in tension tests. Polyester with various thickness and nylon 6.6 are used as reinforcement material. Also, tensile tests are carried out with polyester and nylon 6.6 cord. All reinforced specimens subjected to the test are prepared in two layers. A rubber layer is placed between the layers to prevent the fibers from contacting each other. The specimens are prepared as standart tensile test specimens. All tests are performed at 0.5 mm/s. The distribution difference of the reinforcement material (fibers piled at the centre, fibers piled around the edges and fibers distributed uniformly), when the forces applied to the specimen, how much it is extended is investigated. Also in this study, during the tensile testing of fiber reinforced rubbers, the cases of whether the fibers pulled away from inside the specimen on the effects of mechanical behaviours is investigated.

### **ÖZET**

Bu çalışmada, çeşitli şekillerde yığılmış, sürekli liflerle takviyelendirilen kauçukların çekme yükü altındaki mekanik davranışları, deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada; takviyesiz kauçuk, takviyelendirici olarak naylon 6.6'nın ve çeşitli kalınlıklarda polyesterlerin kullanıldığı kauçuk numuneler hazırlanmış ve çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca naylon 6.6 ve polyester ipler, tek başına çekme testlerine tabi tutulmuştur. Teste tabi tutulan takviyeli tüm numuneler, iki katman şeklinde hazırlanmıştır. Liflerin birbirleriyle temas etmesini engellemek için, tabakalar arasına bir kauçuk katmanı yerleştirilmiştir. Testleri yapılan numuneler, standart çekme deney numunesi şeklinde hazırlanmıştır. Bütün numuneler 0.5 mm/s hızla çekilmiştir. Takviyelendirici malzemenin dağılım farklılığının (ortada toplanmış lifler, her iki yana yığılmış lifler ve düzgün dağılmış lifler), kuvvete karşılık uzamalar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, fiber takviyeli kauçukların çekme testleri esnasında, numunenin içerisinden fiberlerin sıyrıldığı ve sıyrılmadığı durumlardaki mekanik davranışları üzerine etkileri de incelenmiştir.

### **GİRİŞ**

Doğal kauçuk, geleneksel olarak kauçuğun tüm kullanım alanının %70'ini oluşturan ve endüstrideki birçok ürünün ham maddesi olarak kullanılan ticari nitelikli bir malzemedir [1]. Doğal kauçuk tabanlı materyallere olan ilgi, diğer malzemelere göre daha iyi olan mekanik özelliklerinden gelir. Doğal kauçuk, büyük şekil değişimlerinin üstesinden gelebilen sert bir

elastomer olarak bilinmektedir [2]. Ayrıca geri dönüştürülebilen bir malzeme olduğundan dolayı ticari alanda kullanımı çok gelişmiştir. Ancak mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla, birçok üründe sürekli lifler kullanılarak takviyelendirilmiş şekilde kullanılır. Özellikle otomotiv endüstrisinde; havalı körük, kayış, conta, otomobil lastiği, basınçlı hortum ve hava yastığı gibi ürünler başta olmak üzere pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Şekil 1’de otomotivde yaygın şekilde kullanılan fiber takviyeli kauçuklara çeşitli örnekler gösterilmiştir.

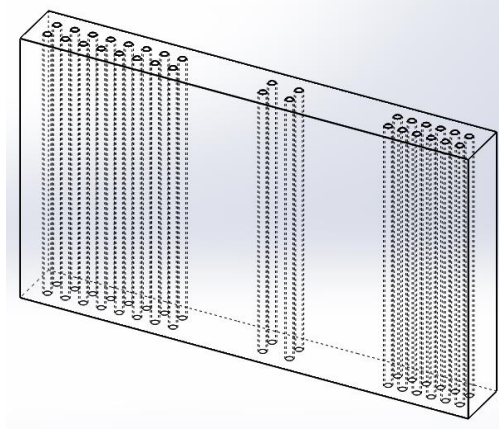
Bu çalışmada, silikon kauçuk çeşitli takviye malzemeleriyle güçlendirilerek takviyelerin farklı dağılım durumlarındaki mekanik özellikleri incelenmiştir.



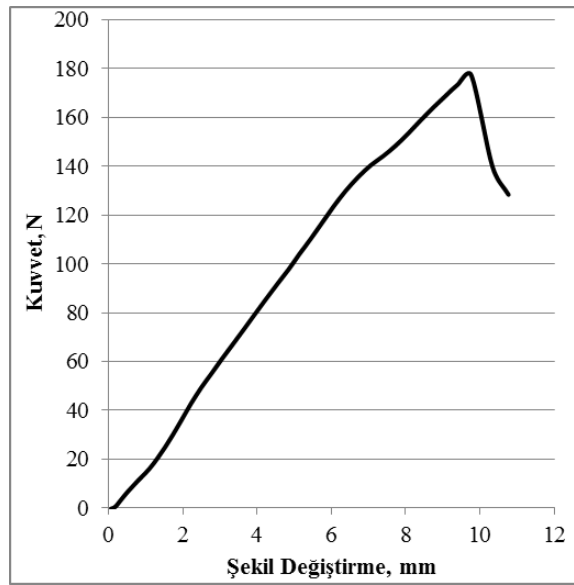
Şekil 1. Fiber takviyeli kauçuklara çeşitli örnekler [4-5]

Araştırmacılar, sürekli fiber takviyeli kauçuklarla ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Literatürde, Li ve arkadaşları, takviyelendirme malzemelerinin doğal bir kauçuk/stiren bütadien kauçuk matrise yapışmasını ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla, sürekli bazalt fiberleri, birleştirici bir silan maddesi işlemiyle ve silan maddesi olmaksızın RFL (resorcional-formaldehide-latex) sistemine daldırmışlardır. Bir test makinesi yardımıyla, iplerin kopma kuvvetini ve iplerin kopmadaki kopma uzamalarını test etmişlerdir [6]. Herrera-Franco ve arkadaşları, sürekli doğal fiberlerle takviyelendirilmiş HDPE’yi (yüksek yoğunluklu polietilen) incelemişlerdir. Fiber-matris etkileşimini iyileştirmek için; ilk olarak temas alanını arttırmak, selüloz mikrofibrillerini ortaya çıkarmak ve fiber ıslaklığını ve emilimini iyileştirmek için fiber yüzey özelliklerine müdahale ederek değiştirmişlerdir [7]. Tsai ve arkadaşı, polyester lastik-fiber katmanlarının ve yönlerinin değişiminin, kloropren kauçuk kompozitler üzerindeki mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir [8]. Zhang ve arkadaşı, fiber takviyeli kompozitlerin enine kesit alanında arzu edilen yüksek fiber yoğunluklu rastgele fiber dağılımı oluşturmak için yeni bir metot geliştirmişlerdir [9]. Parambil ve arkadaşı, tek yönlü fiber takviyeli plastiklerdeki hasar mekanizmalarını, rastgele dağılmış lifler ile üç boyutlu tekrar ederken birim hücrelerin geliştirilmesi ile mikro ölçekte incelemişlerdir [10].

Şekil 2’de takviyeler dikey eksenle sıfır derece açı yaparken aralarındaki mesafenin uygulanan basınçtan dolayı bozulması ve eşit olmaması durumunu göstermektedir. Şekil 3’te ise hazır alınmış bir takviyeli kauçuk kompozitin çekme testi sonuçları görülmektedir.



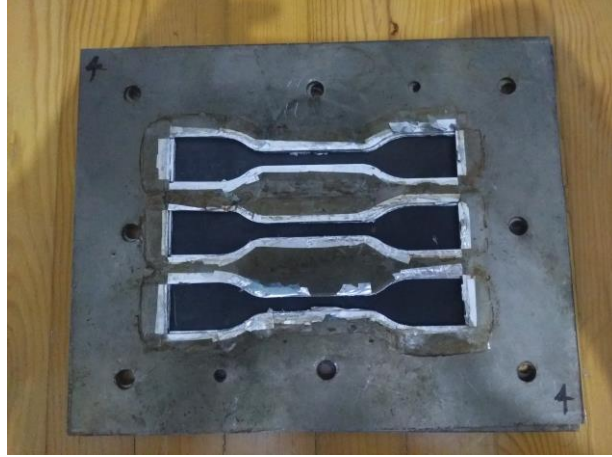
Şekil 2. Rastgele dağılımlı fiber takviyeli kauçuk numune modeli (fiberler arası açı 0°)



Şekil 3. Sıfır derece takviyeler için iki tabakalı ve fiberlerin düzgün dağıtılmış durumundaki çekme deneyi sonuçları.

### Kalıp ve numunelerin hazırlanışı

Fiber takviyeli vulkanize edilmiş kauçukların çekme testlerinin yapılması, bu malzemelerin mekanik özelliklerini açıklamasından dolayı önemlidir. Dolayısıyla bu çalışmada, kullanılacak olan kompozit malzemelerin kalıbı, tel erezyon makinasında kesilerek hazırlanmıştır. Tel erezyon makinesinde standart çekme numunesi oluşturmak için, 20\*25 mm ebatlı, 1.4 mm kalınlığındaki dört adet saca kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun haricinde kalıbın alt ve üst tablası olarak da 4 mm kalınlıklı iki adet sac kullanılmıştır. Şekil 4'te çalışmada kullanılan kalıp görülmektedir.



Şekil 4. Numune hazırlama kalıbı

Çalışmada kullanılan numuneleri hazırlamak için matris malzemesi olarak silikon kauçuk, takviyelendirme elemanı olarak ise no:20 ve no:50 polyester iplikler ile naylon 6.6 kullanılmıştır. Şekil 5’te numune hazırlanırken kullanılan silikon kauçuk ve lifler görülmektedir.



Şekil 5. Silikon kauçuk hamuru ve takviyelendirici lifler

Her bir tabakada 5’er lif kullanılmış ve lifler 2 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Kalıplar hazırlandıktan sonra, kalıba yerleştirilen kauçuğun üzerine, lifler yerleştirilmiş ve üstüne bir kauçuk tabakası daha örtülmüştür. Kauçuk tabakası kalıba iyice yerleştirildikten sonra sıkıştırma işlemi uygulanarak ikinci katmanın zemini hazır hale getirilmiştir. Oluşan katmanın üzerine, ilk katmana benzer şekilde, lifler yerleştirilerek sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Ardından liflerin üzerine bir kat daha kauçuk tabakası örtülerek sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Son olarak meydana gelen kompozit kauçuk tabakası, basınç altında 150°C’de 1 saat pişirilip vulkanizasyon işlemine tabi tutularak numune üretim işlemi tamamlanmıştır. Şekil 6’da numunelerin hazırlanışı ve hazırlanan numunelerin basınç altında pişirildikten sonra kalıptan çıkarılmış hali görülmektedir.

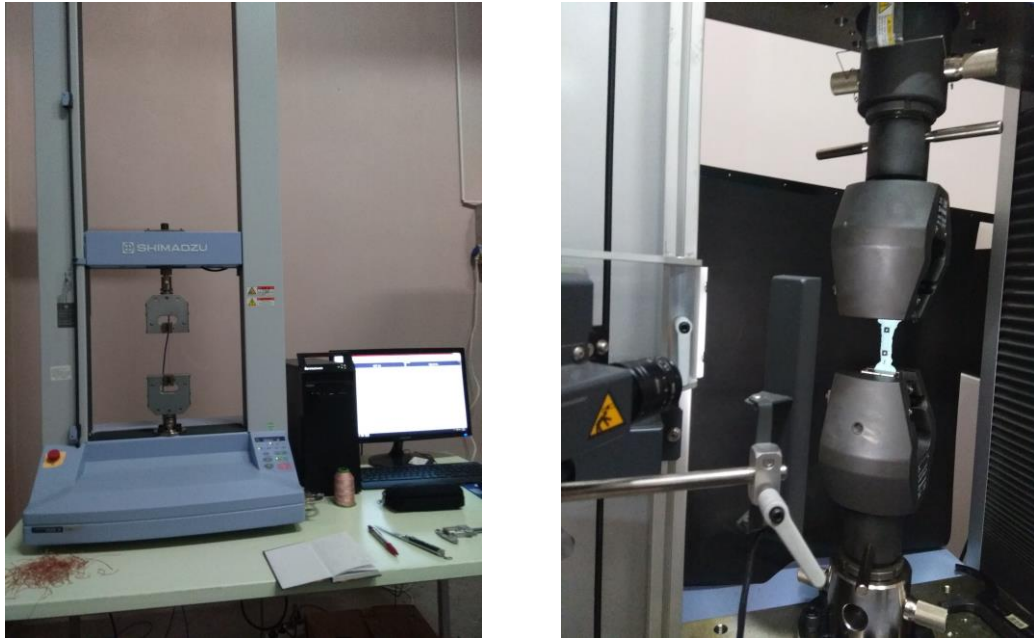




Şekil 6. Numunelerin hazırlanışı, kalıp ve numuneler

### Yapılan Testler

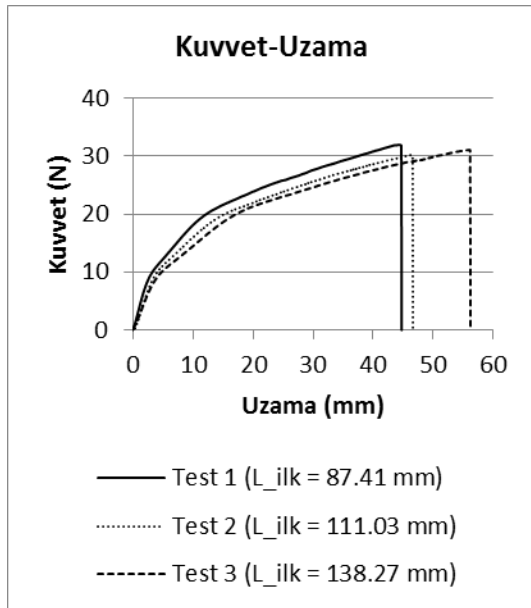
Rastgele dağılmış takviyeli kauçukları test etmeden önce, takviyelendiricilerin çekme testleri gerçekleştirilmiş ve ardından da takviyesiz kauçuk çekme testine tabi tutulmuştur. Daha sonra da takviyeli numunelerin mekanik özelliklerini test etmek için çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Kauçuk kompozit numunelerin çekme testleri esnasında takviyelendirici olarak kullanılan liflerin ekstrasdan bir çubuğa bağlanıp lifler sabitlenmediği sürece kompozit numune içerisinde sıyrılıp çıktığı gözlenmiştir. Bütün çekme testleri 0.5 mm/s hızda gerçekleştirilmiş olup test edilen numuneler, fiberleri kayan (kauçuk içerisinde sıyrılan) ve fiberleri kaymayan olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Şekil 7’de iplerin çekildiği kompozit numune ve Shimadzu AG-X Plus (250 kN), iplerin ve takviyesiz kauçuğun testlerinin gerçekleştirildiği AGS-X (1 kN) çekme makineleri görülmektedir.



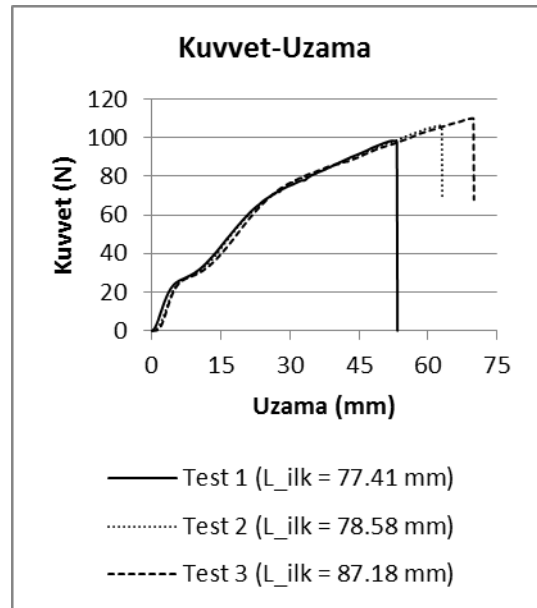
Şekil 7. Çekme testlerinin gerçekleştirildiği test cihazları

## Testlerden Elde Edilen Grafikler

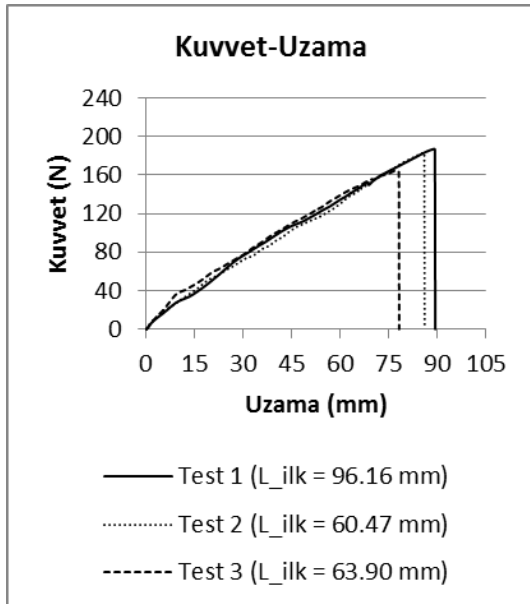
Gerçekleştirilen testler neticesinde aşağıdaki kuvvet-uzama grafikleri elde edilmiştir.



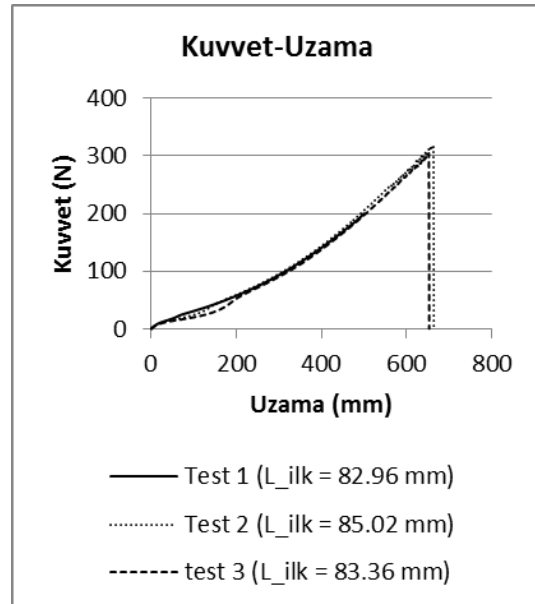
Şekil 8. Polyester no:50 ip çekme testleri, kuvvet-uzama diyagramı



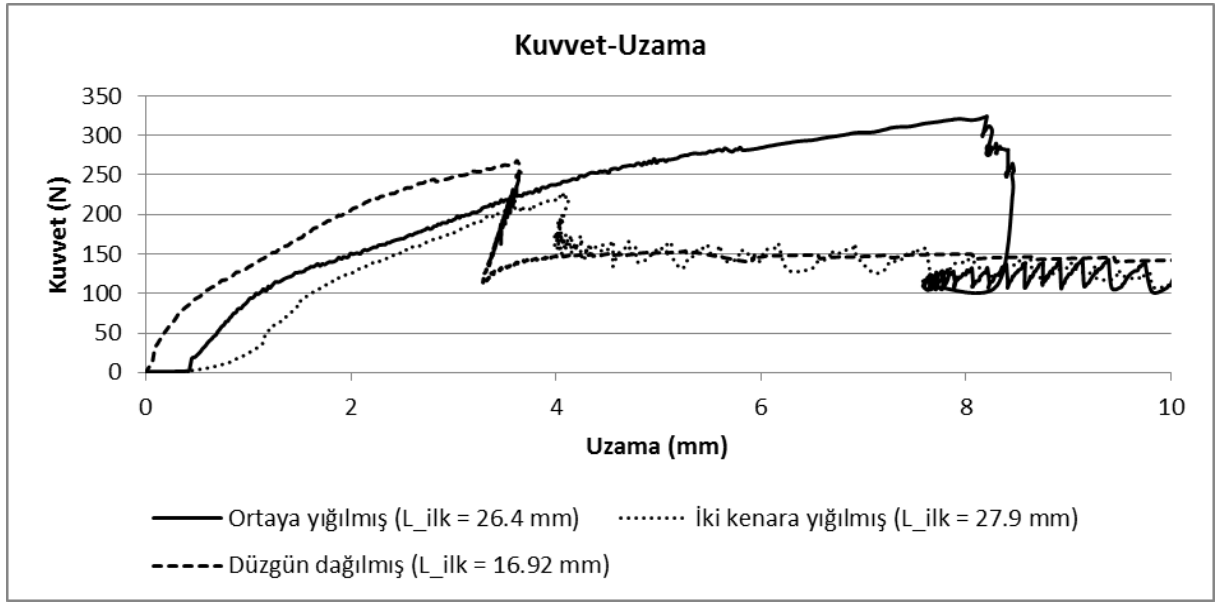
Şekil 9. Polyester no:20 ip çekme testleri, kuvvet-uzama diyagramı



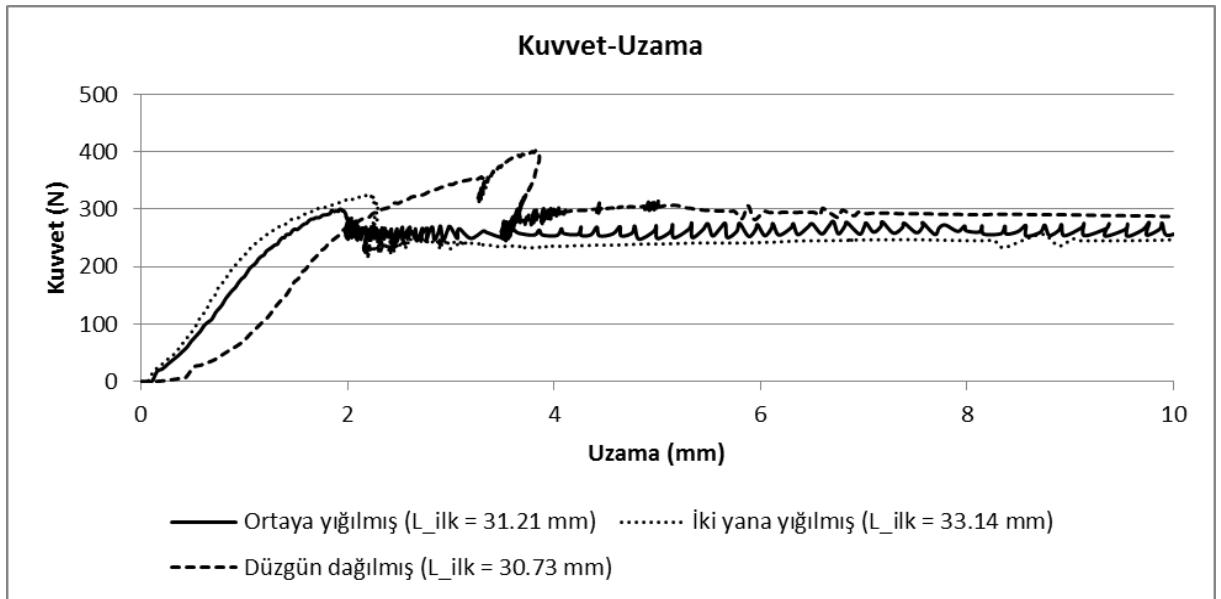
Şekil 10. Naylon 6.6 ip çekme testleri, kuvvet-uzama diyagramı



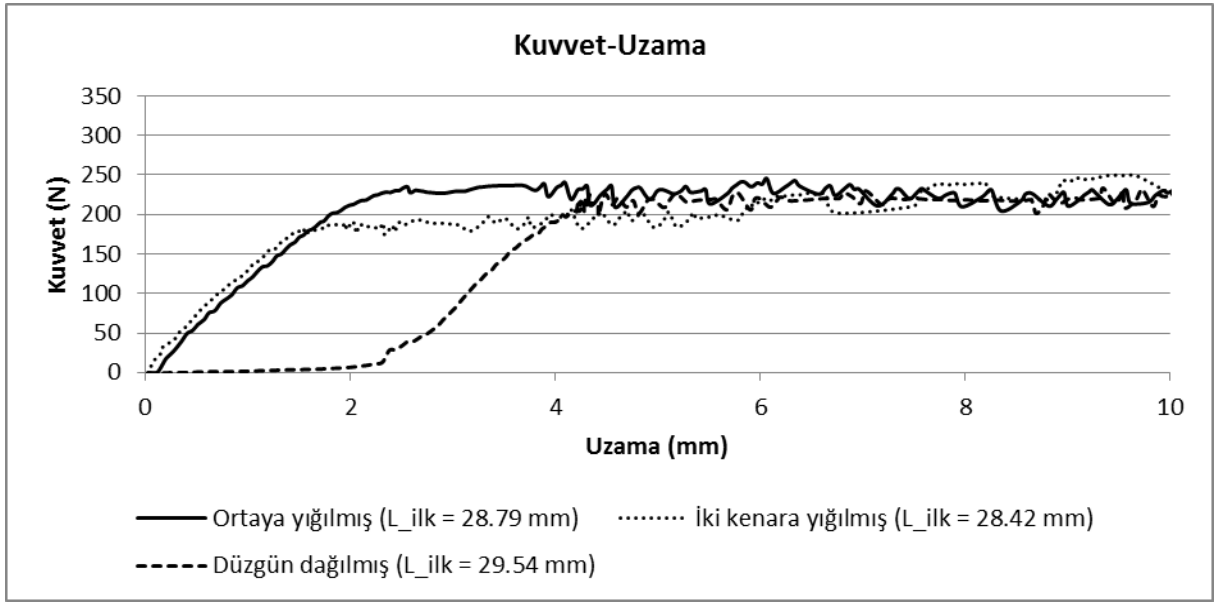
Şekil 11. Takviyesiz kauçuk çekme testleri, kuvvet-uzama diyagramı



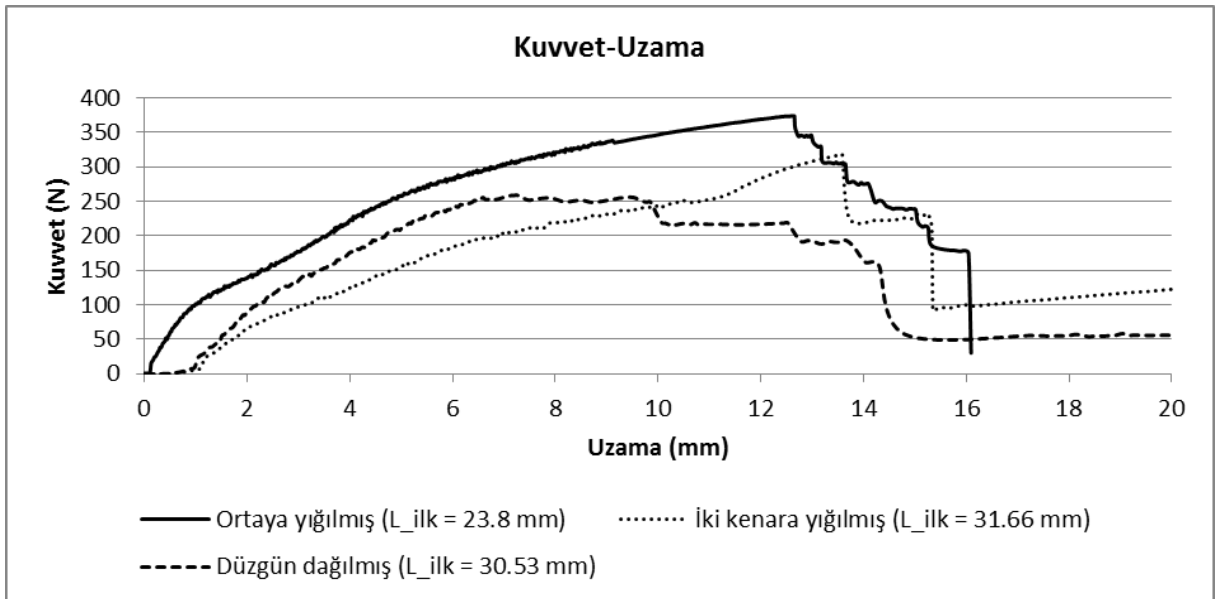
Şekil 12. Fiberleri kayan, takviyelendiricisi polyester no:50 olan kauçuk kompozitin çeşitli durumlar için kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 13. Fiberleri kayan, takviyelendiricisi polyester no:20 olan kauçuk kompozitin çeşitli durumlar için kuvvet-uzama diyagramı

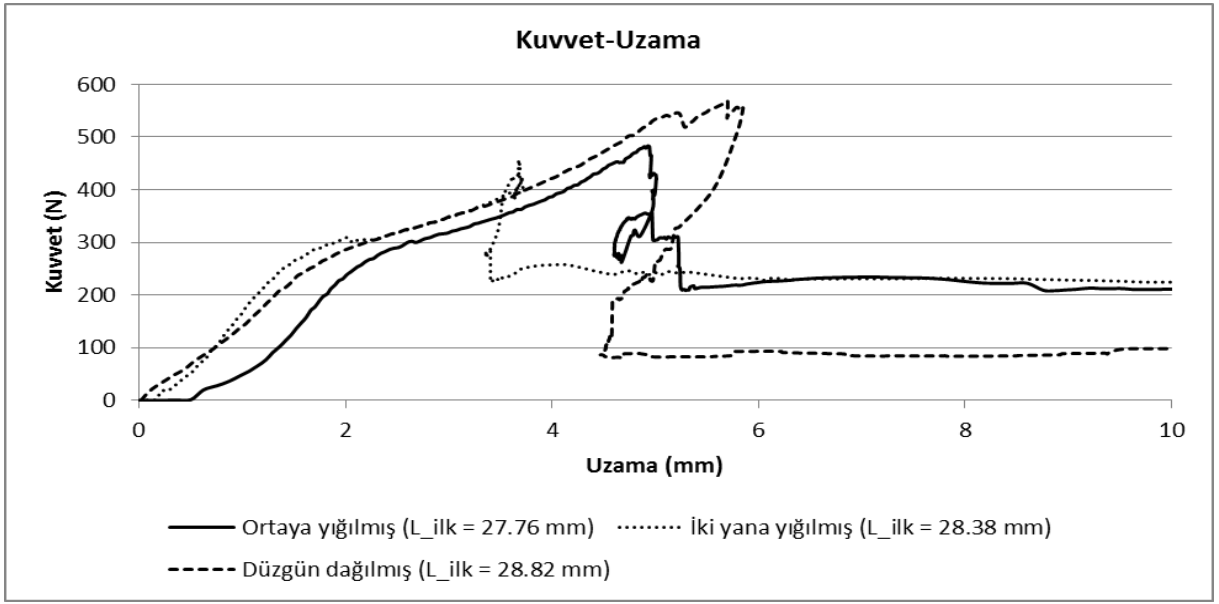


Şekil 14. Fiberleri kayan, takviyelendiricisi naylon 6.6 olan kauçuk kompozitin çeşitli durumlar için kuvvet-uzama diyagramı

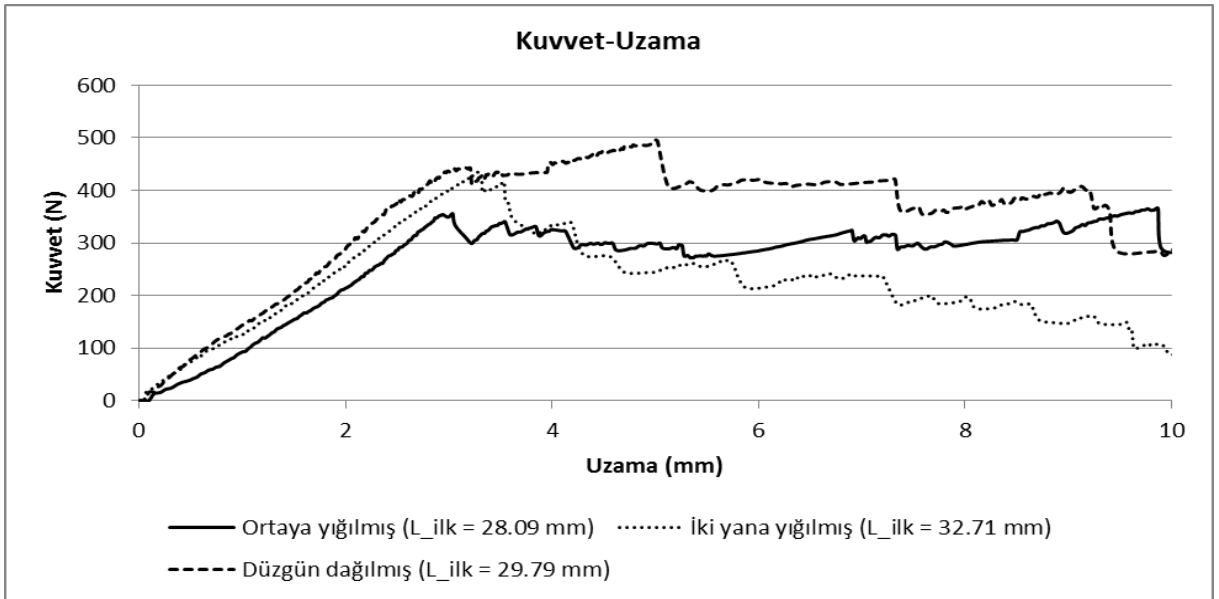


Şekil 15. Fiberleri kaymayan, takviyelendiricisi polyester no:50 olan kauçuk kompozitin çeşitli durumlar için kuvvet-uzama diyagramı





Şekil 16. Fiberleri kaymayan, takviyelendiricisi polyester no:20 olan kauçuk kompozitin çeşitli durumlar için kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 17. Fiberleri kaymayan, takviyelendiricisi naylon 6.6 olan kauçuk kompozitin çeşitli durumlar için kuvvet-uzama diyagramı

## SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda (tek ip çekme, takviyesiz kauçuk çekme ve takviyelendirilmiş numunelerde liflerin yığılma durumlarındaki çekme) kuvvet-uzama grafikleri elde edilmiştir. Polyester no:50 ip çekme testleri incelendiğinde, tek bir ipin 30 N civarında yük taşıyabildiği ve boyunun %40'ı ile %50'si kadar uzayabildiği görülmüştür. Polyester no:20 ip çekme testlerinde, ipler 100-110 N seviyesinde yükler taşıyabilirken, uzamaları ise boyunun %70'i ile %80'i seviyelerinde olduğu görülmüştür. Naylon 6.6 ip çekme testlerinde ise, iplerin 160-180 N seviyelerinde yük taşıdığı ve boyunun %90'ı ile %140'ı seviyelerine kadar uzayabildiği belirlenmiştir. Takviyesiz kauçuk çekme testleri incelendiğinde ise, 300 N'a kadar elastik şekil değiştirebildiği ve ardından koptuğu gözlenmiştir. Takviyesiz kauçuğun

uzama miktarı boyunun 7-8 katına kadar çıkmaktadır. Pamuk iplerle takviyelendirilen kauçuklar incelendiğinde, vulkanizasyon işlemi sırasındaki sıcaklık ve basınca dayanamayarak iplerin kısmen eridiği ve iplerde kopmaların meydana geldiği görülmüştür. Fiberleri kayan kauçuk kompozitlerin grafikleri incelendiğinde; fiberlerin ortaya yığıldığı durumda, fiberlerin her iki yana ve düzgün dağılmış durumlarına göre, hem birim şekil değişiminin, hem de uygulanan kuvvetin genel olarak daha fazla olduğu görülmektedir. Fiberlerin kaymadığı durumları incelediğimizde ise; fiberlerin düzgün dağılmış durumunda, fiberlerin her iki yana ve ortaya dağıldığı durumlarına göre, hem birim şekil değişiminin hem de uygulanan kuvvetin genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla uygulamalarda, fiber takviyeli kauçukların daha fazla eksenel yük taşıması istenildiği durumlarda, fiberlerin ortaya yığılması durumu veya fiberlerin düzgün dağılması durumu göz önüne alınabilir. Naylon 6.6 malzemesinden yapılmış ipler tek başlarına 180 N'a kadar yük taşıyabilmelerine rağmen, bunlarla takviyelendirilmiş kauçuklar incelendiğinde, kompozitlerin ancak 500 N seviyelerine kadar yük taşıyabildiği gözlenmiştir. Dolayısıyla naylon 6.6 iplerin mukavemet değerlerinde vulkanizasyon işlemi sırasında, ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. Buna karşılık polyester iplerde ise, naylon 6.6 iplere kıyasla, daha düşük bir değişim meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca fiberlerin arasındaki mesafe açıldıkça, fiberler arasındaki malzeme farklılıklarından dolayı her bir fiber ayrı ayrı kopmakta, böylelikle taşınabilecek yük miktarı azalmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Bahruddin, A. Ahmad, A. Prayitno, R. Satoto, Morphology and mechanical properties of palm based fly ash reinforced dynamically vulcanized natural rubber/polypropylene blends, *Procedia Chemistry*, 4 (2012) 146 – 153. doi: 10.1016/j.proche.2012.06.021
- [2] M. Zaghdoudi, Z. Tourki & P.-A. Albouy, Characterisation of vulcanised natural rubber behaviour by monotonic and in situ cyclic X-ray scattering tests, *Plastics, Rubber and Composites*, (2015) 44 211-217. DOI: 10.1179/1743289815Y.0000000011
- [3] Morton, J.E, Rubber Technology, Van Nostrand Reinhold, New York, 1987.
- [4] [https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-1-inch-dieselfuel\\_60360678419.html](https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-1-inch-dieselfuel_60360678419.html)
- [5] <https://www.northamericanmotoring.com/forums/tires-wheels-and-brakes/114093-how-do-you-know-when-your-tires-are-worn-out.html>
- [6] Li Z., Xiao T., Zhao S., Effects of surface treatments on mechanical properties of continuous basalt fibre cords and their adhesion with rubber matrix, *Fibers and Polymers*, 17 (2016) 910-916. DOI 10.1007/s12221-016-5928-7.
- [7] Herrera-Franco P.J., Valadez-Gonzalez A., Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 (2004) 339-345. doi:10.1016/j.compositesa.2003.09.012.
- [8] Tsai P.A., Wu J.H., Influence of tire-cord layers and arrangement direction on the physical properties of polyester tire cord reinforced with chloroprene rubber composite materials, *Science and Engineering of Composite Materials*, 2014. DOI 10.1515/secm-2013-0177.
- [9] Zhang T., Yan Y., A Comparison between random model and periodic model for fiber-reinforced composites based on a new method for generating fiber distributions, *Polymer Composites*, 2017. DOI 10.1002/pc.23562.
- [10] Parambil N.K., Gururaja S., Micromechanical damage analysis in laminated composites with randomly distributed fibers, *Journals of Composite Materials*, 21 (2016). DOI: 10.1177/0021998315614992.